Nota

Índices de cambio climático en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México

• José Alonso Figueroa-Gallegos* •
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, México
*Autor para correspondencia

DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-10

Resumen

Figueroa-Gallegos, J. A. (noviembre-diciembre, 2017). Índices de cambio climático en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *8*(6), 137-143, DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-10.

La Organización Meteorológica Mundial y el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices han propuesto 27 indicadores para la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima. Estos índices se calcularon a partir de las series de datos observados de temperaturas —máximas y mínimas— y precipitación de un periodo de más de 50 años, en tres estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México, en donde se ha encontrado que de los 27 índices climáticos definidos por el ETCCDI se ha obtenido una misma tendencia estadísticamente significativa en dos estaciones, en seis índices relacionados con la temperatura del aire; ambas estaciones presentan una tendencia al aumento de los días de verano (SU25), la temperatura máxima extrema (TXx), la frecuencia de días calurosos (Tx90p) y el rango diurno de temperatura (DTR), mientras que presentan una tendencia negativa (disminución) de la frecuencia de días frescos (Tx10p) y la frecuencia de noches frías (Tn10p), por lo que se puede concluir que la temperatura mínima y máxima presenta una tendencia ascendente significativa.

Palabras clave: índices de cambio climático, cuenca hidrológica, Río Grande.

Abstract

Figueroa-Gallegos, J. A. (November-December, 2017). Climate change indices in the Río Grande Basin, Chiapas, Mexico. Water Technology and Sciences *(in Spanish), 8(6), 137-143, DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-10.*

The World Meteorological Organization and the Expert Team on Climate Change Detection and Indices have proposed 27 indicators to detect and monitor changes in climate extremes. These indices were calculated based on a series of observed temperature data (maximum and minimum) and precipitation over a period of more than 50 years at three weather stations located in the Rio Grande basin in Chiapas, Mexico. At two stations, 27 of the climate indices defined by the ETCCDI were found to have had the same statistically significant trends, six of which were related to air temperature. Both stations presented increasing trends in summer days (SU25), maximum extremes (TXx), frequency of warm days (Tx90p), and daytime temperature ranges (DTR), and negative trends (decreases) in the frequency of cold days (Tx10p) and cold nights (Tn10p). It can therefore be concluded that the minimum and maximum temperatures present a significant upward trend.

***Keywords**: Climatic change Indices, hydrological basin, Río Grande.*

Recibido: 16/08/2016
Aceptado: 31/05/2017

Introducción

Los términos calentamiento global y cambio climático son conceptos estrechamente relacionados, a tal grado que en ocasiones suelen ser confundidos o utilizados como sinónimos. Según el IPCC (2007), el calentamiento global hace referencia al aumento gradual observado o previsto de la temperatura mundial en la superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropogénicas, mientras que cambio climático es una variación del estado del clima, que puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera.

La variabilidad del clima es un hecho constatado (IPCC, 2013). Los retos ambientales, sociales

y de gestión del territorio y los recursos surgen ante el deterioro ambiental; las consecuencias del cambio climático tendrán efectos diferentes en cada zona geográfica. De acuerdo con el informe IPCC (2007), las consecuencias del cambio climático en Latinoamérica previsiblemente se traducirán en modificaciones en las pautas de precipitación y en los regímenes de escurrimiento del caudal de los ríos; mayor número de incendios forestales; menor rendimiento de los cultivos, y afectación en la disponibilidad de agua para consumo humano, agricultura y generación de energía hidroeléctrica. Por ello, el cambio climático es motivo de un apasionado debate científico y plantea una acusada incertidumbre temporal, espacial y de magnitud; no obstante, hay un importante consenso en su veracidad y en las consecuencias que se irán manifestando cada vez más en los ecosistemas y sistemas económicos (IPCC, 2013).

En este sentido, la precipitación y temperatura del aire son dos de las más importantes variables en el campo de la hidrología y climatología. La precipitación es un componente crítico en el proceso lluvia-escurrimiento y tiene influencia directa en las inundaciones, así como en los períodos de sequía. La temperatura, por otra parte, juega un prominente y bien conocido rol en la evaporación, transpiración y demanda de agua tanto de animales como de humanos; de igual forma, tiene efectos significativos para el suministro de agua y su disponibilidad. En consecuencia, las implicaciones de cambios en la precipitación y temperatura son cruciales para los planificadores en relación con la evaluación exacta de su comportamiento e impacto de las variables hidrológicas.

Una manera de medir estos fenómenos climáticos es a través de indicadores, los cuales ilustran y comunican de forma sencilla un proceso complejo, que incluye tendencias y progresión a lo largo del tiempo; estas mediciones, por lo general, son cuantitativas. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés), han formulado y definido un conjunto de 27 índices para estudiar situaciones climáticas, aplicando una metodología que garantiza que los resultados puedan analizarse globalmente; dichos índices se detallan en el cuadro 1.

Estudios de búsqueda de tendencias climáticas en la temperatura

Se han consultado diversos estudios relacionados con las tendencias climáticas en distintas regiones del planeta, con el objetivo de contar con un panorama global sobre la situación del tema; así, el estudio desarrollado por Arora, Goel y Singh (2005) analiza los registros de temperatura —media, máxima y mínima— de 125 estaciones climatológicas de la India; producto de ese análisis, los investigadores identifican que la temperatura en el país ascendió en el periodo de 1941 a 1999. Igualmente, Singh, Kumar, Thomas y Arora (2008) realizan una investigación que examina los datos concernientes a 100 años de temperatura en la India —media, máxima y mínima—, con base en los registros de 43 estaciones climatológicas y siete cuencas, en los que identifican una tendencia ascendente en la temperatura media.

Por su parte, Martínez, Maleski y Miller (2012) llevan a cabo un estudio para encontrar tendencias en las temperaturas medias, máximas y mínimas del estado de Florida, Estados Unidos; los resultados de la investigación exponen que en referencia a la temperatura máxima, ésta muestra tendencias ascendentes en algunas de las estaciones estudiadas, y descendentes en el resto de las mismas. Campos-Aranda (2015) analiza 16 estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México, con más de 50 años de registro de temperatura máxima del mes de mayo, y encuentra que cuatro de las ocho estaciones climatológicas de la Región Hidrológica 12 Parcial (Río Santiago) presentan tendencia ascendente significativa.

De igual manera, Chattopadhyay y Edwards (2016) estudian 42 estaciones con datos de temperatura del Estado de Kentucky, Estados

• ISSN 0187-8336

Cuadro 1. Índices climáticos definidos por el ETCCDI.

Código	Nombre	Definición
SU25	Días de verano	Número de días en un año en que *TX* > 25 °C
ID0	Días con hielo	Número de días en un año en que *TX* < 0 °C
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año en que *TN* > 20 °C
FD0	Días con helada	Número de días en un año en que *TN* < 0 °C
GSL	Duración de la estación de crecimiento	Número de días en un año entre la primera racha de, como mínimo, seis días con *TG* > 5 °C y la primera racha después del 1° de julio con, como mínimo, seis días con *TG* < 5 °C
TXx	Temperatura máxima extrema	Valor máximo anual de la temperatura máxima diaria
TXn	Temperatura máxima más baja	Valor mínimo anual de la temperatura máxima diaria
TNx	Temperatura mínima más alta	Valor máximo anual de la temperatura mínima diaria
TNn	Temperatura mínima extrema	Valor mínimo anual de la temperatura mínima diaria
Tx10p	Frecuencia de días frescos	Porcentaje de días en que *TX* < percentil 10
Tx90p	Frecuencia de días calurosos	Porcentaje de días en que *TX* > percentil 90
Tn10p	Frecuencia de noches frías	Porcentaje de días en que *TN* < percentil 10
Tn90p	Frecuencia de noches cálidas	Porcentaje de días en que *TN* > percentil 90
WSDI	Duración de los periodos cálidos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis días consecutivos con *TX* > percentil 90
CSDI	Duración de los periodos fríos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis días consecutivos con *TN* < percentil 90
DTR	Rango diurno de temperatura	Media anual de la diferencia entre *TX* y *TN*
Rx1day	Precipitación máxima en un día	Valor máximo anual de la *PPT* diaria
Rx5day	Precipitación máxima en cinco días	Máxima anual de la *PPT* registrada en cinco días consecutivos
SDII	Índice simple de intensidad diaria	*PPT* total anual dividida entre el número de días con *PPT* ≥ 1 mm
R10	Días con lluvia mayor a 10 mm	Número anual de días en que *PPT* ≥ 10 mm
R20	Días con lluvia mayor a 20 mm	Número anual de días en que *PPT* ≥ 20 mm
R25	Días con lluvia mayor a 25 mm	Número anual de días en que *PPT* ≥ 25 mm
CDD	Días secos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con *PPT* < 1 mm
CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con *PPT* ≥ 1 mm
R95p	Días muy húmedos	*PPT* total anual (en días en que *PPT* ≥ 1 mm) cuando la *PPT* diaria acumulada es superior al percentil 95
R99p	Días extremadamente húmedos	*PPT* total anual (en días en que *PPT* ≥ 1 mm) cuando la *PPT* diaria acumulada es superior al percentil 99
PRCPTOT	Precipitación total	*PPT* total anual en días en que *PPT* ≥ 1 mm

Nota: donde *TN* es la temperatura mínima, *TX* la temperatura máxima, *TG* la temperatura media y *PPT* la precipitación; el cálculo de percentiles, si corresponde, se realiza tomando como periodo de referencia el trentenio 1961-1990. Fuente: Vázquez (2010).

Unidos, e identifican que sólo tres estaciones presentaron tendencia ascendente de la temperatura media anual; finalmente, el estudio realizado por Gil y López (2015) encuentra evidencias de una ligera tendencia al aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones en la cuenca del río Quípar, España.

Materiales y métodos

Esta investigación tiene por objetivo contribuir al conocimiento de la variabilidad climática, en el marco del cambio global, al analizar la evolución de las precipitaciones y temperaturas que permiten explicar los posibles patrones de

ISSN 0187-8336 •

cambio a través de los índices climáticos del ETCCDI, en una pequeña cuenca hidrológica del sureste mexicano, la del Río Grande, Chiapas.

El área de estudio es la subcuenca RD30Gl-Río Grande Comitán (figura 1) en cuatro municipios: Comitán, La Independencia, La Trinitaria y Las Margaritas en el estado de Chiapas, México, con una extensión de 6 212.51 km^2. Esta subcuenca, a su vez, se encuentra en la cuenca del río Lacantún, en la región hidrográfica Grijalva-Usumacinta (INEGI, 2010). El área de estudio es una región que se caracteriza por su importancia biológica y turística, pues ahí se encuentra el Parque Nacional Lagunas de Montebello, uno de los atractivos turísticos nacionales, sobresaliente por su belleza.

La Región Hidrográfica RD30Gl forma parte de las regiones fisiográficas Altos de Chiapas, Montañas de Oriente y Depresión Central; el relieve del terreno está formado principalmente de sierras, lomeríos y mesetas. La altura del relieve varía entre 160 y 2 614 m sobre el nivel del mar.

En esta región se presentan climas de los grupos semicálidos y cálidos. Predomina el semicálido húmedo, con lluvias abundantes de verano, seguido por el clima semicálido subhúmedo, con lluvias de verano.

Durante los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de 9 a 22.5 °C. En este mismo periodo, la temperatura máxima promedio oscila entre 18 y 34.5 °C. La precipitación pluvial en estos meses oscila de 700 a 3 000 mm.

En el periodo de noviembre a abril, la temperatura mínima promedio va de 3 a 19.5 °C, y la máxima promedio va de 15 a 33°C. La precipitación pluvial durante este periodo va de 50 a 700 mm (INEGI, 2010).

Según Ramos (2010), las tendencias climatológicas previstas en el estado de Chiapas se relacionan con el incremento en la temperatura

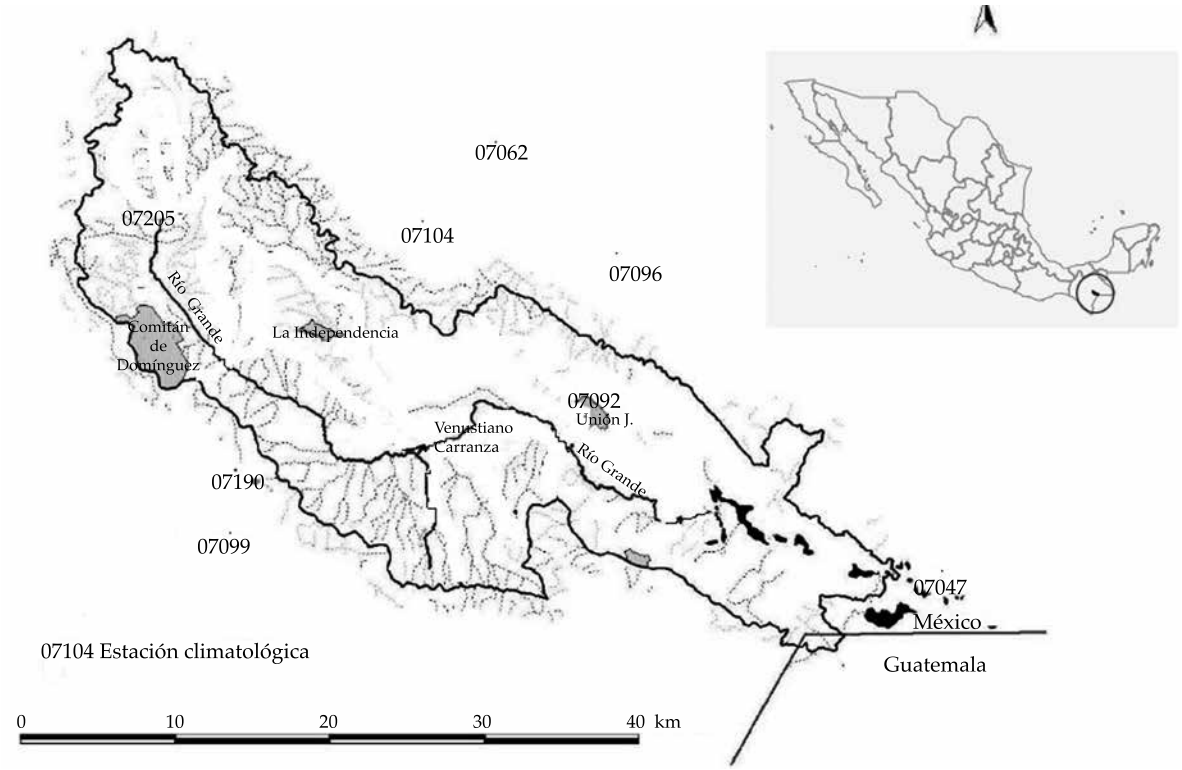

Figura 1. Cuenca del Río Grande, Chiapas, México.

Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VIII, núm. 6, noviembre-diciembre de 2017, pp. 137-143
• ISSN 0187-8336

media proyectada, simuladas con el modelo japonés TL959 bajo el escenario SRES A1B. Para el periodo 2075-2079, para la zona en estudio se espera un decremento en la precipitación; se proyecta un incremento en la temperatura máxima entre 3 y 3.6°C, y para la temperatura mínima entre 2.5 y 2.8 °C, respectivamente.

Dentro y cercanas a la cuenca existen ocho estaciones climatológicas, mostradas en la figura 1 y el cuadro 2, en donde sólo las estaciones 07062, 07104 y 07205 cuentan con más de cincuenta años de registros; por ello, exclusivamente se consideran los datos de estas tres estaciones en los análisis del presente trabajo.

Metodología

Tal como lo establece Vázquez (2010), el cálculo de índices climáticos del ETCCDI es una herramienta útil para caracterizar el clima, presentar los patrones climáticos históricos y detectar los cambios.

El cálculo de los índices del ETCCDI es relativamente directo si se realiza con alguna de las herramientas de *software*, como *RClimdex* y *RHTest*, diseñadas para el propósito (Wang & Feng, 2004). Primero se deben seleccionar los datos diarios de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima, a partir de los cuales se calcularán los índices, a fin de que sólo las series de observaciones más completas, continuas y libres de errores se analicen. Una vez que se ha seleccionado un conjunto de datos adecuado para el análisis, se requiere que éste sea sometido a un procedimiento de control de calidad, supeditando valores poco comunes a procedimientos estadísticos de verificación (típicamente cuatro desviaciones estándar) y de escrutinio experto con base en conocimientos de la climatología física de cada región.

Por último, cuando los datos han pasado el proceso de control de calidad, deben ser sujetos a prueba y análisis de homogeneidad, aplicando la prueba "t" de máxima penalización o la prueba "F" de máxima penalización, ambas con sus intervalos de confianza del 95%, dejando para el análisis sólo las series de datos razonablemente homogéneas. Idealmente, la serie no debería contener ningún tipo de cambio significativo para poder utilizarla en el cálculo de índices de cambio climático, a menos de que dicho cambio estuviera bien documentado y fuera debido sólo al clima y no a ningún factor artificial del proceso de medición. Las series homogéneas son entonces utilizadas para calcular los índices de cambio climático de cada estación individual, para después integrar la zona regional del área en estudio y analizar tendencias.

Resultados

De los 27 índices climáticos definidos por el ETCCDI y calculados con los datos de 1961 a 2014 de las estaciones climatológicas 07205 (Comitán), 07104 (Las Margaritas) y 07062 (Finca La Soledad), las únicas con series de más de 50

Cuadro 2. Ubicación de las estaciones climatológicas.

Estación	Latitud	Longitud	Elevación
07047 El Jabalí, La Independencia	16.1333	-91.3667	360 msnm
07062 Finca La Soledad, Las Margaritas	16.3881	-91.8625	1 469 msnm
07092 La Esperanza, La Trinitaria	16.1542	-91.8681	1 500 msnm
07096 La Pimienta, Las Margaritas	16.3167	-91.7833	1 120 msnm
07099 Zapaluta, La Trinitaria	16.0364	-92.0889	720 msnm
07104 Las Margaritas, Las Margaritas	16.3106	-91.9747	1 512 msnm
07190 La Trinitaria, La Trinitaria	16.1178	-92.0517	1 540 msnm
07205 Comitán, Comitán de Domínguez	16.2511	-921342	1 630 msnm

Fuente: SMN (2016).

ISSN 0187-8336 •

años, se encuentra que sólo se ha obtenido la misma tendencia estadísticamente significativa en seis índices relacionados con la temperatura del aire en dos estaciones (cuadro 3). Este resultado pone de manifiesto la incertidumbre y dependencia regional de las variables climáticas.

Las estaciones 07104 (Las Margaritas) y 7205 (Comitán) reportan tendencias ascendentes estadísticamente significativas a nivel de confianza de 95% en los índices Días de verano (SU25), Temperatura máxima extrema (TXx), Frecuencia de días calurosos (Tx90p) y Rango diurno de temperatura (DTR); tendencias descendentes estadísticamente significativas a nivel de confianza de 95% en los índices Frecuencia de días frescos (Tx10p) y Frecuencia de noches frías; la estación 07062 (Finca La Soledad) reporta tendencias ascendentes estadísticamente significativas a nivel

Cuadro 3. Tipo de tendencia (si es estadísticamente significativa) para las estaciones de Comitán, Las Margaritas y Finca La Soledad.

Índice		**¿Tendencia estadísticamente significativa? (nivel de confianza de 95%)**					
Código	**Nombre**	**Comitán**	**Pendiente estimada**	**Las Margaritas**	**Pendiente estimada**	**Finca La Soledad**	**Pendiente estimada**
SU25	Días de verano	Sí	2.743	Sí	2.816	No	---
TXx	Temperatura máxima extrema	Sí	0.047	Sí	0.109	No	---
Tx10p	Frecuencia de días frescos	Sí	-0.174	Sí	-0.146	No	---
Tx90p	Frecuencia de días calurosos	Sí	0.628	Sí	0.784	Sí	-0.19
Tn10p	Frecuencia de noches frías	Sí	-0.195	Sí	-0.099	No	---
Tn90p	Frecuencia de noches cálidas	Sí	0.282	No	---	No	---
WSDI	Duración de los periodos cálidos	Sí	0.622	No	---	No	---
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	0.028	Sí	0.054	No	---
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No	---	No	---	Sí	0.525
SDII	Índice simple de intensidad diaria	No	---	No	---	Sí	0.054
R10	Días con lluvia mayor a 10 mm	No	---	No	---	Sí	0.403
R20	Días con lluvia mayor a 20 mm	No	---	No	---	Sí	0.264
R25	Días con lluvia mayor a 25 mm	Sí	0.08	No	---	Sí	0.258
CWD	Días húmedos consecutivos	No	---	No	---	Sí	0.101
R95p	Días muy húmedos	No	---	No	---	Sí	7.846
R99p	Días extremadamente húmedos	No	---	No	---	Sí	3.602
PRCP TOT	Precipitación total	No	---	No	---	Sí	14.914

Fuente: elaboración propia (2016).

• ISSN 0187-8336

de confianza de 95%, en los índices Precipitación máxima en un día (Rx1day), Índice simple de intensidad diaria (SDII), Días con lluvia mayor a 10 mm (R10), Días con lluvia mayor a 20 mm (R20), Días húmedos consecutivos (CWD), Días muy húmedos (R95p), Días extremadamente húmedos (R99p) y Precipitación total (PRCPTOT), y tendencias descendentes estadísticamente significativas de 95% en el índice Frecuencia de días calurosos(Tx90p); las estaciones 07205 (Comitán) y 07062 (Finca La Soledad) presentan tendencias ascendentes estadísticamente significativas a 95% en el índice Días con lluvia mayor a 25 mm (R25).

Conclusiones

Para las estaciones 07205 (Comitán) y 07104 (Las Margaritas), el número de días en un año en que la temperatura máxima es mayor a 25 °C ha tenido incremento de 2.743 y 2.816 días/año; el valor máximo anual de la temperatura máxima diaria se ha incrementado en 0.047 y 0.109 °C/año, y la media anual de la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima tiene incrementos de 0.028° y 0.054 °C/año; así, por lo que se puede concluir, las temperaturas mínima y máxima presentan una tendencia ascendente significativa, que muestra coincidencia con lo reportado por Campos-Aranda (2015) para el estado de Zacatecas, y con las tendencias previstas para el estado de Chiapas reportadas por Ramos (2010). Cabe destacar que los resultados expuestos se limitan a las áreas geográficas de donde proceden los registros y es difícil extrapolarlos a otras zonas.

Aunque en la región se cuenta con pocas estaciones con registros de más de 50 años, es necesario realizar este tipo de análisis en otras cuencas, a fin de poder establecer si las tendencias aquí detectadas son generalizadas y se puedan establecer medidas orientadas a redimensionar los sistemas de abastecimiento de todo tipo, pues la evaporación sin duda estará aumentando, disminuyendo la disponibilidad de agua e incrementando las necesidades.

Referencias

Arora, M., Goel, N, K., & Singh, P. (2005). Evaluation of temperature trends over India. *Hydrological Sciences Journal*, *50*(1), 81-93.

Campos-Aranda, D. (2015). Búsqueda del cambio climático en la temperatura máxima de mayo en 16 estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *6*(3), 143-160.

Chattopadhyay, S., & Edwards, D. R. (2016). Long-term trend analysis of precipitation and air temperature for Kentucky, United States. *Climate*, *4*(1), 10.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. México, DF: UNAM.

Gil, S., & López, F. (2011). Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (56), 349-371.

INEGI (2010). *Conjunto de datos vectoriales. Red hidrográfica. 1:50 000. Edición 2.0. Subcuenca RH30Gl-R*. Comitán, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

IPCC (2007). *Climate Change 2007-ThePhysical Science Basis*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

IPCC (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas*. Suiza: IPCC.

Martínez, C. J., Maleski, J. J., & Miller, M. F. (2012). Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology*, *252-253*, 259-281.

Ramos, S. (2010). *Escenarios climáticos para el estado de Chiapas. Informe final. Fase II*. Tuxtla Gutiérrez, México: UNICACH.

Singh, P., Kumar, V., Thomas, T., & Arora, M. (2008). Basin wide assessment of temperature trends in Northwest and Central India. *Hydrological Sciences Journal*, *53*(2), 421-433.

SMN (2016). *Comisión Nacional del Agua*. Ciudad de México: Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 11 de enero de 2016. Recuperado de http://smn.conagua.gob.mx.

Vázquez, J. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. México, DF: Semarnat.

Wang, X., & Feng, Y. (2013). *RHeststsV4 User Manual*. Toronto: CRD-ASTDCTB.

Dirección institucional del autor

Dr. José Alonso Figueroa Gallegos

Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Ingeniería
Boulevard Belisario Domínguez km 1081
29000 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Teléfono: +52 (961) 615 057
jose.figueroa@unach.mx

ISSN 0187-8336 •